

89

08P 16 373

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
26. Juni 2003 (26.06.2003)

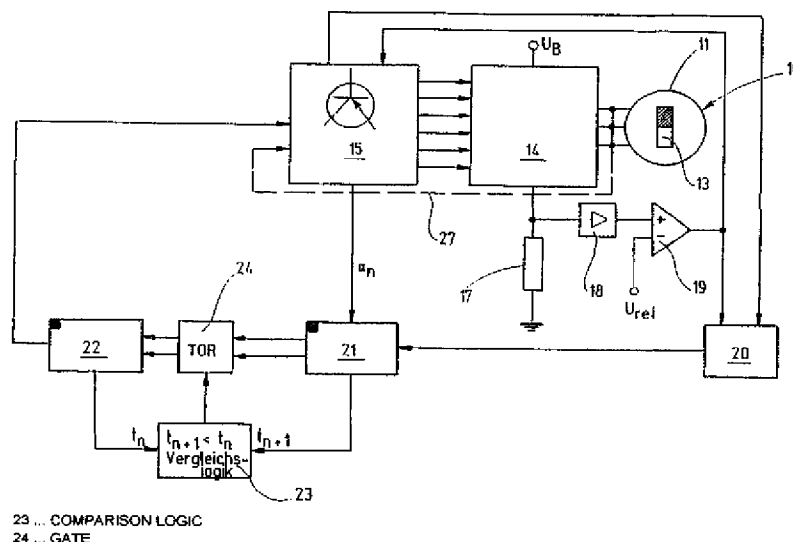
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/052919 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H02P 6/00** (72) **Erfinder; und**  
(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): HEIDRICH, Torsten**  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE02/04582** [DE/DE]; Roggenweg 1, 71665 Vaihingen/Enz (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: **16. Dezember 2002 (16.12.2002)** (81) **Bestimmungsstaaten (national): JP, US.**  
(25) Einreichungssprache: **Deutsch** (84) **Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).**  
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** **Veröffentlicht:**  
(30) Angaben zur Priorität: **— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts**  
**101 62 380.1 19. Dezember 2001 (19.12.2001) DE**  
(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).**  
*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(54) **Title:** METHOD FOR STARTING A BRUSHLESS D.C. MOTOR

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM STARTEN EINES BÜRSTENLOSEN GLEICHSTROMMOTORS



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for starting a brushless d.c. motor comprising a multi-phase stator winding. According to the invention, a plurality of current pulses is applied to the stator winding while the rotor is stationary, a current build-up period is measured in the stator winding for each current pulse until a current threshold has been reached and the rotor position is derived from the current build-up periods that have been measured. The aim of the invention is to obtain a controlled acceleration without the use of a sensor and to precisely determine the rotor position without using complex control technology. To achieve this, a plurality of test current pulses is successively applied to the stator winding in such a way that the test current pulses in the stator generate stator flow vectors across 360°, which are electrically offset by identical angular increments. The current build-up period is measured in the aggregate current of the stator winding for each stator flow vector and the phase angle of the stator flow vector with the shortest current build-up period is determined as the rotor position.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



---

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zum Starten eines bürstenlosen Gleichstrommotors mit einer mehrphasigen Statorwicklung angegeben, bei dem während des Rotorstillstands eine Mehrzahl von Stromimpulsen auf die Statorwicklung aufgeschaltet, in der Statorwicklung bei jedem Stromimpuls eine Stromanstiegszeit bis zum Erreichen einer Stromschwelle gemessen und aus den gemessenen Stromanstiegszeiten die Rotorposition abgeleitet wird. Für einen geregelten, sensorlosen Hochlauf wird eine genauere Bestimmung der Rotorposition bei geringerem steuerungstechnischen Aufwand dadurch erreicht, daß eine Mehrzahl von Teststromimpulsen nacheinander so auf die Statorwicklung aufgeschaltet werden, daß die Teststromimpulse im Stator über 360° elektrisch um gleiche Winkelschritte versetzte Statorflußvektoren erzeugen. Zu jedem Statorflußvektor wird die Stromanstiegszeit im Summenstrom der Statorwicklung gemessen und die Phasenlage des Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit als Rotorposition bestimmt.

5

10 Verfahren zum Starten eines bürstenlosen Gleichstrommotors

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Starten eines bürstenlosen Gleichstrommotors nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bürstenlose Gleichstrommotoren, sog. BLDC-Motoren, werden  
20 elektronisch kommutiert, wobei die in Brückenschaltung angeordneten Halbleiterschalter der Schaltvorrichtung nach einem vorgegebenen Kommutierungsmuster zur folgerichtigen Bestromung der einzelnen Wicklungsstränge oder -phasen der Statorwicklung von einer Steuervorrichtung in Abhängigkeit  
25 von der Drehstellung des Rotors durchgeschaltet (geschlossen) oder gesperrt (geöffnet) werden. Durch die Kommutierung wird sichergestellt, daß die Winkelbeziehung von  $90^\circ$  elektrisch zwischen einem von der Statorwicklung erzeugten Statorflußvektor und dem Rotordurchflutungsvektor  
30 aufrechterhalten bleibt, und somit der Rotor von dem

- 2 -

umlaufenden Statorfeld oder Statorflußvektor angetrieben wird.

Zur Bestimmung der Rotorposition werden z.B.

- 5 Positionssensoren eingesetzt (DE 40 40 926 C1). Es sind auch BLDC-Motoren bekannt, bei denen zur Bestimmung der Rotorposition rotatorisch induzierte Spannungen ausgewertet werden (DE 37 09 168 A1). Nachteilig dabei ist, daß im Motorstillstand keine Spannung induziert wird, die Rotorlage  
10 daher nicht bekannt ist und sich damit der Motoranlauf insbesondere bei stark veränderlichen oder hohen Lasten schwierig gestaltet.

- Aus der US 5 569 990 und /oder US 5 028 852 ist es bekannt,  
15 bei einem BLDC-Motor die Rotorposition im Stillstand mit einer Genauigkeit von  $180^\circ/m$  elektrisch zu bestimmen wobei  $m$  die Phasenzahl der Statorwicklung ist, um mit dieser Kenntnis der Rotorposition den Motor durch Anlegen eines auf die Rotordrehstellung angepaßten Kommutierungsmusters der  
20 Ansteuersignale für die Schaltvorrichtung in die richtige Drehrichtung zu starten. Hierzu werden an die Statorwicklung des stehenden Motors Stromimpulse gelegt, die einerseits lang genug sind, um eine korrekte Messung zu ermöglichen und andererseits kurz genug sind, damit der Rotor nicht dreht,  
25 also seine Position beibehält. Hierzu wird an jede Wicklungsphase oder jeden Wicklungsstrang der Statorwicklung ein positiver und ein negativer Teststromimpuls gegeben, die Stromanstiegszeit, d.h. die Zeit, die vergeht, bis der in der Wicklungsphase fließende Strom eine Stromschwelle erreicht,  
30 gemessen und die Zeitdifferenz zwischen den beiden Stromanstiegszeiten bestimmt. Der aus den  $m$

- 3 -

Stromanstiegszeiten bestehende Zeitvektor wird in eine Bestromungstabelle für die Statorwicklung eingelesen, welche das zur Kommutierung erforderliche Bestromungsmuster der m Wicklungsphasen enthält, um den Rotor in die gewünschte

5 Drehrichtung umlaufen zu lassen. Die zu dem Zeitvektor zugehörige Kombination der Phasenbestromung wird durch entsprechende Ansteuersignale realisiert, die an die Steuereingänge der Halbleiterschalter der Schaltvorrichtung angelegt werden. Die Ansteuersignale werden dann in der durch

10 das Kommutierungsmuster vorgegebenen Weise variiert, so daß auf den Rotor ein entsprechendes Drehmoment ausgeübt wird und der Rotor hochdreht.

#### Vorteile der Erfindung

15 Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil der genaueren Bestimmung der Rotorposition im Motorstillstand mit geringerem steuerungstechnischen Aufwand. Der zur Verfügung stehende

20 Signalhub wird besser ausgenutzt, so daß die Prüf- oder Testströme in den Wicklungsphasen oder -strängen kleiner bzw. kürzer gemacht werden können, was durch dadurch mögliche größere Bestromungszeiten für die Drehmomenterzeugung ein höheres Antriebsmoment ermöglicht. Ist die Rotorposition

25 bestimmt, so kann gemäß weiteren Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einer geringeren Anzahl von weiteren Teststromimpulsen das mögliche Antriebsmoment sowohl bei aktiver als auch passiver Last weiter gesteigert werden.

- 4 -

Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildung und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich.

Ist die Rotorposition bestimmt, so wird nach einer  
5 bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Stromimpuls auf die Statorwicklung aufgeschaltet, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch in einer als Krafrichtung gewählten Rotordrehrichtung gegenüber der bestimmten  
10 Rotorposition versetzt ist. Nach einer Zeitspanne, die konstant oder abhängig von der Drehzahl des Motors gewählt wird, wird zur Überprüfung der Rotorposition eine geringere Anzahl von weiteren Teststromimpulsen auf die Statorwicklung aufgeschaltet. Ist die Rotorposition unverändert, so wird  
15 erneut durch Aufschalten eines Stromimpulses der drehmomentbildende Statorflußvektor erzeugt. Hat sich der Rotor gedreht, so wird mittels eines Stromimpulses ein drehmomentbildender Statorflußvektor generiert, dessen Phasenlage wiederum um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neu  
20 bestimmten Rotorposition versetzt ist. Dieser Vorgang wird fortgesetzt, bis eine ausreichende Rotordrehzahl erkannt wird, wonach auf ein anderes bekanntes Verfahren zur sensorlosen Bestimmung der Rotorposition umgeschaltet wird. Damit entfallen die zyklisch auftretenden Teststromimpulse,  
25 und der Motor ist im seinem vollen Leistungsumfang nutzbar.

Die Aufschaltung der weiteren Teststromimpulse kann in verschieden Weisen durchgeführt werden. Ist die Drehrichtung des Motors bekannt, so werden gemäß einer bevorzugten  
30 Ausführungsform der Erfindung die Teststromimpulse so aufgeschaltet, daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen

- 5 -

ersten Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage mit der bestimmten Rotorposition übereinstimmt, und ein zweiter weiterer Teststromimpuls einen zweiten Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage um einen elektrischen

5 Winkelschritt in Krafrichtung gegenüber dem ersten Statorflußvektor versetzt ist. Die Krafrichtung ist dabei die bekannte Drehrichtung des Rotors. Die den beiden Statorflußvektoren zugehörigen Stromanstiegszeiten werden gemessen und miteinander verglichen, und die Phasenlage des

10 Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit wird als neue Rotorposition bestimmt. Danach wird wiederum ein Stromimpuls auf die Statorwicklung aufgeschaltet, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neuen

15 Rotorposition in Krafrichtung versetzt ist.

Ist die Drehrichtung des Motors unbekannt, so werden gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet, daß ein erster

20 weiterer Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor erzeugt, der gegenüber der Phasenlage des zuvor erzeugten drehmomentbildenden Statorflußvektors um  $90^\circ$  elektrisch zuzüglich eines elektrischen Winkelschritts entgegen Krafrichtung versetzt ist, und ein zweiter weiterer und ein

25 dritter weiterer Teststromimpuls jeweils einen zweiten und dritten Statorflußvektor erzeugen, der um jeweils einen elektrischen Winkelschritt in Krafrichtung gegenüber dem ersten bzw. zweiten Statorflußvektor versetzt ist. Die den Statorflußvektoren zugehörigen Stromanstiegszeiten werden

30 wiederum gemessen und miteinander verglichen, und die Phasenlage des Statorflußvektors mit der kleinsten

- 6 -

Stromanstiegszeit wird als neue Rotorposition bestimmt.  
Anschließend wird ein Stromimpuls auf die Statorwicklung  
aufgeschaltet, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor  
erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der  
5 neuen Rotorposition in Krafrichtung versetzt ist.

In beiden Fällen hat die vorstehend beschriebene Festlegung  
der Abfolge des Anlegens der weiteren Teststromimpulse  
folgende Vorteile: Vor dem Anlegen eines Teststromimpulses  
10 ist es notwendig, daß die in den Wicklungsphasen von dem  
vorhergehenden Teststromimpuls erzeugten Phasenströme  
abgeklungen sind. Dadurch wird sichergestellt, daß die mit  
den einzelnen Teststromimpulsen erhaltenen Meßergebnisse  
nicht durch einen bereits existierenden Phasenstrom  
15 verfälscht werden. Nachdem der letzte Teststromimpuls  
aufgeschaltet worden ist und damit die aktuelle Rotorposition  
bekannt ist, kann direkt der Stromimpuls zur Erzeugung des  
drehmomentbildenden Statorflußvektors aufgeschaltet werden.  
Ein Abklingen der Phasenströme in der Statorwicklung ist in  
20 diesem Fall nicht mehr notwendig. Durch die vorstehend  
beschriebene Festlegung der Abfolge der Teststromimpulse liegt  
der von dem letzten Teststromimpuls erzeugte Statorflußvektor  
immer um  $30^\circ$  elektrisch - wenn die Rotorposition bestätigt  
wurde - und  $90^\circ$  elektrisch - wenn eine neue Rotorposition  
25 erkannt worden ist - neben dem Statorflußvektor, der für die  
anschließende Drehmomenterzeugung zum Weiterbewegen des  
Rotors erforderlich ist. Liegt der vom letzten  
Teststromimpuls erzeugte Statorflußvektor nur  $30^\circ$  elektrisch  
neben dem drehmomentbildenden Statorflußvektor so braucht zur  
30 Erzeugung des drehmomentbildenden Statorflußvektors nur eine  
der durch den letzten Teststromimpuls bestromten



- 7 -

- Wicklungsphasen der Statorwicklung nicht mehr bestromt zu werden. Ist der Abstand der Statorflußvektoren  $90^\circ$  elektrisch, kann zur Erzeugung des drehmomentbildenden Statorflußvektors immerhin eine der durch den letzten
- 5 Teststromimpuls bestromten Wicklungsphasen für die Erzeugung des drehmomentbildenden Statorflußvektors gleich bestromt bleiben. Durch diese Integration des letzten Teststromimpulses mit dem Stromimpuls für die Momentenerzeugung wird eine deutliche Drehmomenterhöhung im
- 10 Hochlauf erzielt, da das Verhältnis der Zeiten für die Teststromimpulse und der Zeiten für die Momentenerzeugung verbessert ist, ohne daß die Zeit für die Momentenerzeugung verlängert wurde.
- 15 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden zur Bestimmung des die Rotorposition bestimmenden Statorflußvektors die Phasenlagen und die zugeordneten Stromanstiegszeiten aufeinanderfolgender Statorflußvektoren gespeichert und dabei die Speicherwerte des vorherigen
- 20 Statorflußvektors mit denen des nachfolgenden Statorflußvektors überschrieben, wenn die dem nachfolgenden Statorflußvektor zugehörige Stromanstiegszeit kleiner ist, als die dem vorherigen Statorflußvektor zugehörigen Stromanstiegszeit. Durch diese Verfahrensvariante müssen
- 25 nicht alle Stromanstiegszeiten und zugeordneten Phasenlagen der Statorflußvektoren abgespeichert werden. Es genügt, wenn jeweils für zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Teststromimpulse, die Stromanstiegszeiten und die Phasenlagen der erzeugten Statorflußvektoren gespeichert werden, so daß
- 30 sich der Speicherbedarf auf nur zwei Speicher beschränkt. In den ersten Speicher werden dabei immer die jeweils aktuelle

- 8 -

Stromanstiegszeit und die aktuelle Phasenlage des gerade erzeugten Statorflußvektors eingeschrieben und eine in der vorstehend beschriebenen Weise arbeitende Vergleichslogik sorgt dafür, daß im zweiten Speicher immer die Phasenlage des Statorflußvektors abgespeichert ist, dem die kleinste Stromanstiegszeit zugehörig ist.

Zeichnung

10 Die Erfindung ist anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

15 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Betreiben eines bürstenlosen Gleichstrommotors, an einem Gleichspannungsnetz,

20 Fig. 2 ein Schaltbild der Schaltvorrichtung in der Vorrichtung gemäß Fig. 1,

Fig. 3 ein in der Steuervorrichtung der Vorrichtung gemäß Fig. 1 abgelegtes Kommutierungsmuster,

25 Fig. 4 Darstellungen von im Stator erzeugten  
bis 10 Statorflußvektoren zur Erläuterung des Verfahrens zum Starten des Gleichstrommotors.

30

- 9 -

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 ist im Blockschaltbild eine Vorrichtung zum  
Betreiben eines bürstenlosen Gleichstrommotors 10 an einem  
5 Gleichspannungsnetz mit der Netzgleichspannung  $U_B$   
dargestellt. Der Gleichstrommotor 10 weist in bekannter Weise  
einen Stator 11 mit einer im Ausführungsbeispiel dreiphasigen  
Statorwicklung 12 (Fig. 2) und einen permanentmagneterregten  
Rotor 13 auf. Alternativ kann der Rotor auch  
10 gleichstromerregt sein. Mittels einer Schaltvorrichtung 14,  
die von einer Steuervorrichtung 15 gesteuert wird, werden die  
drei Wicklungsphasen oder -stränge 121, 122, 123 der  
dreiphasigen Statorwicklung 12 folgerichtig so bestromt, daß  
im Stator ein Statorfeld umläuft, das dem Durchflutungsvektor  
15 des Rotors 13 um  $90^\circ$  elektrisch in Drehrichtung vorausseilt.  
Hierzu ist es erforderlich, die Drehstellung des Rotors 13 zu  
überwachen und die Schaltvorrichtung 14 entsprechend  
anzusteuern. Die momentane Rotordrehstellung wird mit Hilfe  
der rotatorisch induzierten Spannung in den Wicklungsphasen  
20 121 - 123 der Statorwicklung 12 bestimmt, was durch die in  
Fig. 1 strichliniert eingezeichnete Spannungsmeßleitung 27  
angedeutet ist.

Die Schaltvorrichtung 14 umfaßt eine Mehrzahl von  
25 Halbleiterschaltern, die im Ausführungsbeispiel als MOS-FETs  
ausgebildet und in einer Zweiweg-Brückenschaltung  
zusammengefaßt sind. Bei der gewählten Dreiphasenwicklung  
sind in der Schaltvorrichtung 14 sechs Halbleiterschalter T1  
- T6 vorhanden, deren Steuereingänge an der Steuervorrichtung  
30 15 angeschlossen sind. In der Steuervorrichtung 15 werden  
entsprechend eines vorgegebenen Kommutierungsmusters

- 10 -

Ansteuersignale generiert (in Fig. 3 linker Tabellenteil) die an die einzelnen Halbleiterschalter T1 - T6 gelegt werden und dadurch eine Bestromung der Wicklungsphasen 121 - 123 der Statorwicklung 12 bewirken, wie sie in Fig. 3 im rechten Teil  
5 der Tabelle dargestellt ist. Das Pluszeichen bedeutet hierbei eine positive Bestromung in Richtung Pfeil 16 in Fig. 2, ein Minuszeichen eine entgegengerichtete Bestromung. Ein nicht ausgefülltes Kästchen steht für eine stromlose Wicklungsphase. Werden beispielsweise die Halbleiterschalter  
10 T1, T4 und T6 angesteuert, so schalten diese durch, und ein Strom fließt in der Wicklungsphase 121 in Richtung Pfeil 16 und in den Wicklungsphasen 122 und 123 gegen Pfeilrichtung.

Im Motorstillstand besteht das Problem, daß bei Drehzahl Null  
15 keine Spannung in der Statorwicklung 12 induziert wird, so daß das sensorlose Verfahren zur Rotorlagebestimmung durch Auswertung der Strang- oder Phasenspannungen des Motors 10 nicht eingesetzt werden kann. Um einen geregelten Motoranlauf aus dem Stillstand zu gewährleisten, sind weitere Komponenten  
20 für einen geregelten sensorlosen Hochlauf vorgesehen. Diese umfassen einen vom Summenstrom der Statorwicklung 12 durchflossenen Meßshunt 17, einen Verstärker 18, einen Komparator 19, an dessen einem Eingang eine Referenzspannung  $U_{ref}$  liegt, einen Zeitmesser 20, zwei Speicher 21, 22, eine  
25 Vergleichslogik 23 zum Vergleich der Speicherinhalte der beiden Speicher 21, 22 und eine von der Vergleichslogik 23 gesteuerte Torschaltung 24, die bei geöffnetem Tor das Einschreiben der Speicherwerte aus dem Speicher 21 in den Speicher 22 zuläßt.

30

- 11 -

Mit diesen Komponenten für den geregelten Hochlauf des Motors 10 wird folgendes Verfahren zum Starten des bürstenlosen Gleichstrommotors 10 durchgeführt:

Im Stillstand des Rotors 13 werden auf die dreiphasige  
5 Statorwicklung 12 sechs Teststromimpulse aufgeschaltet, die im Stator Statorflußvektoren erzeugen, die um  $60^\circ$  elektrisch gegeneinander versetzt sind. Hierzu werden die Halbleiterschalter T1 - T6 der Schaltvorrichtung 14  
10 nacheinander mit den im linken Teil der Tabelle gemäß Fig. 3 angegebenen Schaltsignalen angesteuert. Die Ordnungszahl der Impulse  $I_n$  mit  $n=1, 2 \dots 6$  ist in Fig. 3 in der linken Spalte eingetragen. In dem linken Teil der Tabelle sind die erforderlichen Ansteuersignale der Halbleiterschalter T1 - T6 dargestellt. Eine "1" bedeutet dabei einen geschlossenen  
15 Halbleiterschalter, also einen durchgeschalteten MOS-FET, eine "0" steht für einen gesperrten MOS-FET, also einen offenen Halbleiterschalter T1 - T6. Die Teststromimpulse sind dabei von einer solch kurzen Dauer, daß die im Motor erzeugten Drehmomente so klein sind, daß sich der Rotor 13  
20 aufgrund seines Trägheitsmoments und der Reibung nicht bewegt. Bei jedem Teststromimpuls  $I_n$  werden die Wicklungsphasen 121, 122 und 123 der Statorwicklung 12 in der im rechten Teil der Tabelle der Fig. 3 angegebenen Weise bestromt, wobei im Stator ein Statorflußvektor generiert  
25 wird, dessen Phasenlage  $\alpha$  in der mittleren Spalte der Tabelle in Fig. 3 eingetragen ist. Beim ersten Teststromimpuls  $I_1$  werden z.B. - wie in Fig. 3 ausgewiesen ist - die Halbleiterschalter T1, T4 und T6 angesteuert. In der Wicklungsphase 121 fließt ein zeitlich zunehmender  
30 Phasenstrom in Richtung Pfeil 16, der über die Wicklungsphasen 122, 123 entgegen Pfeil 16 und über den

- 12 -

Meßshunt 17 fließt. Der über den Meßshunt 17 fließende Summenstrom ergibt eine Meßspannung, die über den Verstärker 18 dem Komparator 19 zugeführt wird. Übersteigt die am Meßshunt 17 abgegriffene und verstärkte Spannung die

5 Referenzspannung  $U_{ref}$  wird vom Komparator 16 ein Ausgangssignal generiert, das als Stoppsignal an den Zeitmesser 20 und an die Steuervorrichtung 15 gelangt. Mit Auslösen eines jeden Teststromimpulses durch die Steuervorrichtung 15 wird von der Steuervorrichtung 15 auch

10 der Zeitmesser 20 gestartet, der die Zeit mißt, bis der von dem Teststromimpuls in den Wicklungsphasen 121 - 123 erzeugte Summenstrom die durch die Referenzspannung  $U_{ref}$  festgelegte Stromschwelle erreicht hat. Ist dies der Fall, so wird durch das Ausgangssignal des Komparators 19 die Zeitmessung beendet

15 und über die Steuervorrichtung 15 die Ansteuerung der Halbleiterschalter beendet. Die vom Zeitmesser 20 gemessene Zeit  $t_1$  wird zusammen mit der Phasenlage  $\alpha_1$  des von dem Teststromimpuls  $I_1$  erzeugten Statorflußvektors gespeichert. Der gleiche Vorgang wiederholt sich beim Aufschalten des

20 zweiten Teststromimpuls  $I_2$  durch Ansteuerung der Halbleiterschalter  $T_1$ ,  $T_3$  und  $T_6$  und beim Aufschalten der übrigen Teststromimpulse  $I_3$  bis  $I_6$ .

Nach Aufschalten aller Teststromimpulse  $I_n$  mit  $n=1 - 6$  sind

25 nacheinander die in Fig. 4 dargestellten sechs Statorflußvektoren 25 erzeugt worden, und zu jedem Statorflußvektor 25 sind die Stromanstiegszeit  $t_n$  und die Phasenlage  $\alpha_n$  abgespeichert worden. Nunmehr werden die Stromanstiegszeiten miteinander verglichen, und die

30 Phasenlage des Statorflußvektors, dem die kleinste Stromanstiegszeit zugehörig ist, wird als Rotorposition

- 13 -

bestimmt. Diese Rotorposition definiert einen Sektor 26 von 60° elektrisch, dessen Symmetrieachse durch die Phasenlage  $\alpha_n$  des Stromflußvektors 25 bestimmt ist. In Fig. 4 sind die sechs Stromflußvektoren 25 und die zugehörigen Sektoren 26 dargestellt. Bei einer m-phasigen Statorwicklung mit  $m > 2$  werden durch insgesamt  $2m$  Teststromimpulse  $2m$  Statorflußvektoren 25 erzeugt, die um  $180^\circ/m$  elektrisch zueinander versetzt sind und  $2m$  Sektoren 26 mit einer Winkelbreite von  $180^\circ/m$  elektrisch definieren.

Um nicht alle Stromanstiegszeiten  $t_n$  und die zugeordneten Phasenlagen  $\alpha_n$  mit  $n=1-6$  der Statorflußvektoren abspeichern zu müssen und den Speicherbedarf auf die beiden Speicher 21, 22 reduzieren zu können, wird immer die jeweils vom Zeitmesser 20 gemessene aktuelle Zeit  $t_n$  in den Speicher 21 geschrieben und dort der Phasenlage  $\alpha_n$  des aktuellen Statorflußvektors zugeordnet. Nach dem ersten Teststromimpuls  $I_1$  wird die im ersten Speicher 21 abgelegte Stromanstiegszeit  $t_1$  und die dazugehörige Phasenlage  $\alpha_1$  des vom Testimpuls  $I_1$  erzeugten Statorflußvektors in den zweiten Speicher 22 eingeschrieben. Mit Anlegen des zweiten Teststromimpulses  $I_2$  wird die Stromanstiegszeit  $t_2$  im Summenstrom der Statorwicklung 12 gemessen und diese zusammen mit der zugehörigen Phasenlage  $\alpha_2$  des Statorflußvektors 25 in den Speicher 21 eingeschrieben. Die Vergleichslogik 23 vergleicht nunmehr die im zweiten Speicher 22 enthaltene Stromanstiegszeit  $t_1$  mit der in den ersten Speicher 21 eingeschriebenen Stromanstiegszeit  $t_2$ . Ist die Stromanstiegszeit  $t_2$  kleiner als die Stromanstiegszeit  $t_1$ , steuert die Vergleichslogik 23 die Torschaltung 24 auf, und der Speicherinhalt des zweiten Speichers 22 wird von dem

- 14 -

Speicherinhalt des ersten Speichers 21 überschrieben. Ist die Stromanstiegszeit  $t_2$  größer als die Stromanstiegszeit  $t_1$ , so bleibt die Torschaltung 24 geschlossen, und beim nächsten Testimpuls  $I_3$  wird der Speicherinhalt des Speichers 21 mit

5 der Stromanstiegszeit  $t_3$  und der Phasenlage  $\alpha_3$  des von dem dritten Teststromimpuls  $I_3$  erzeugten Statorflußvektors überschrieben. Die Vergleichslogik 23 vergleicht wiederum die in den beiden Speichern 21, 22 abgelegten Stromanstiegszeiten  $t_{n+1}$  und  $t_n$  und steuert wie vorstehend beschrieben die

10 Torschaltung 24 auf oder nicht. Sind alle sechs Teststromimpulse  $I_n$  an die Statorwicklung 12 gelegt worden, so sind im zweiten Speicher 22 die kleinste Stromanstiegszeit und die Phasenlage des zugehörigen Statorflußvektors abgespeichert. Diese Phasenlage bestimmt den Sektor 26, in

15 welchem die maximale Verkettung zwischen Rotorfluß und Statorfluß auftritt, und definiert damit den Sektor 26, in dem sich der Rotor 13 momentan befindet. Angemerkt sei, daß die Zeitspanne zwischen aufeinanderfolgenden Teststromimpulsen so gewählt wird, daß die von einem

20 Teststromimpuls erzeugten Phasenströme in der Statorwicklung 12 vor Aufschalten des nächsten Teststromimpulses abgeklungen sind. Dadurch wird sichergestellt, daß die Stromanstiegszeiten beim Aufschalten der einzelnen Teststromimpulse nicht durch einen bereits existierenden

25 Phasen- oder Strangstrom verfälscht werden.

Damit der Rotor 13 nach dem Ende der Positionsbestimmung ein Drehmoment abgibt, wird nunmehr ein Stromimpuls auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, der einen

30 drehmomentbildenden Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch in einer als Krafrichtung



- 15 -

gewählten Rotordrehrichtung gegenüber der bestimmten Rotorposition versetzt ist. Die Statorflußvektoren 25' für die Drehmomenterzeugung sind in Fig. 5 dargestellt. Ist beispielsweise der Sektor 26 der Rotorposition durch die

5    Phasenlage  $\alpha=120^\circ$  des von einem Teststromimpuls hervorgerufenen Statorflußvektors 25 festgelegt (Fig. 6), so besitzt der drehmomentbildende Statorflußvektor 25' die Phasenlage  $\alpha=210^\circ$ . Nach Ablauf einer Zeit, die fest oder z.B. in Abhängigkeit von der Drehzahl des Motors gewählt

10    wird, wird durch Aufschalten weiterer Teststromimpulse auf die Statorwicklung 12 die Rotorposition überprüft, d.h. nachgeprüft, ob aufgrund des aufgeschalteten Stromimpulses zur Drehmomentbildung der Rotor 13 seine zuvor bestimmte Position beibehalten oder verändert hat, um das

15    Antriebsmoment beizubehalten.

Ist die Drehrichtung des Motors bekannt, so werden - wie dies in Fig. 7 und 8 dargestellt ist - die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet, daß ein erster weiterer

20    Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor 251 erzeugt, dessen Phasenlage  $\alpha$  um einen halben elektrischen Winkelschritt, im Ausführungsbeispiel der dreiphasigen Statorwicklung 12 also um  $30^\circ$  elektrisch, gegenüber der Phasenlage  $\alpha=210^\circ$  des drehmomentbildenden Statorflußvektors

25    25' (Fig. 8) entgegen Kraftrichtung, die mit der Drehrichtung zusammenfällt, versetzt ist. Dabei wird, wie eingangs beschrieben, die Stromanstiegszeit gemessen. Anschließend wird ein zweiter weiterer Teststromimpuls auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, der einen zweiten

30    Statorflußvektor 252 erzeugt, dessen Phasenlage  $\alpha$  um einen elektrischen Winkelschritt, im Ausführungsbeispiel also  $60^\circ$

- 16 -

elektrisch, gegenüber dem ersten Statorflußvektor 251 entgegen Kraftrichtung versetzt ist. Auch die diesem Statorflußvektor 252 zugehörige Stromanstiegszeit wird gemessen. Nunmehr werden wiederum die beiden

5 Stromanstiegszeiten miteinander verglichen und die Phasenlage  $\alpha$  des Statorflußvektors 251 bzw. 252 mit der kleinsten Stromanstiegszeit als neue Rotorposition bestimmt. Hierzu werden - wie zuvor beschrieben - die Phasenlagen  $\alpha$  der von den Teststromimpulsen erzeugten Statorflußvektoren 251, 252

10 und die zugehörigen Anstiegszeiten  $t$  wieder in die Speicher 21, 22 eingeschrieben und durch die Vergleichslogik 23 miteinander verglichen. Die Phasenlage  $\alpha$  des Stromflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit wird an die Steuervorrichtung 15 übertragen. Nunmehr wird wie

15 vorstehend beschrieben ein Stromimpuls auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor 25' erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neuen Rotorposition in Kraftrichtung versetzt ist (Fig. 8). Der Vorgang der Aufschaltung der

20 beiden weiteren Teststromimpulse und des Stromimpulses zur Drehmomenterzeugung wird solange fortgesetzt, bis die Steuervorrichtung 15 eine ausreichende Rotordrehzahl erkennt. Dann wird von der Ansteuervorrichtung 15 auf die z.B. EMK-

25 basierte sensorlose Rotorpositionsbestimmung umgeschaltet.

25

Von einer bekannten Drehrichtung kann ausgegangen werden, wenn das mögliche Lastmoment nicht größer ist als das verfügbare Motormoment, d.h. daß der Motor bei Aufschalten der drehmomentbildenden Stromimpulse sich nicht unbedingt

30 drehen muß, allerdings auch nicht von der Last entgegen der gewünschten Drehrichtung bewegt wird. Ist die Drehrichtung

- 17 -

unbekannt, so wird - wie dies in Fig. 9 und 10 dargestellt ist - zusätzlich zu den beiden weiteren Teststromimpulsen noch ein dritter weiterer Teststromimpuls auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, der einen Statorflußvektor erzeugt, dessen Phasenlage  $\alpha$  um einen elektrischen Winkelschritt, also im Ausführungsbeispiel um  $60^\circ$  elektrisch, gegenüber dem vom zweiten Teststromimpuls erzeugten Statorflußvektor 252 entgegen Krafrichtung versetzt ist. Auch hier wird wiederum die Stromanstiegszeit gemessen, und die Phasenlage  $\alpha$  des Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit bestimmt die neue Rotorposition. Zur nachfolgenden Drehmomenterzeugung wird in gleicher Weise wiederum ein Stromimpuls an die Statorwicklung 12 gelegt, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor 25' mit einer gegenüber der neu bestimmten Rotorposition um  $90^\circ$  elektrisch in Krafrichtung vorausseilenden Phasenlage erzeugt (Fig. 10).

Während es vor dem Anlegen eines jeden Teststromimpulses notwendig ist, daß in den Wicklungsphasen 121 - 123 die Phasenströme vollständig abgeklungen sind, kann der Stromimpuls zur Erzeugung eines drehmomentbildenden Statorflußvektors unmittelbar dem letzten Teststromimpuls folgen. Ein Abklingen der Phasen- oder Strangströme ist in diesem Fall nicht notwendig. Um das Verhältnis von Zeit für die Teststromimpulse und Zeit für den Stromimpuls für die Momenterzeugung zu verbessern, ohne daß die Zeit für die Momentenerzeugung verlängert wird, wird bei dem vorstehend beschriebenen Aufschalten der weiteren Teststromimpulse zur Nachprüfung der Rotorposition und zum Steigern des Antriebsmoments für den Rotor 13 in einer modifizierten Weise vorgegangen:

- 18 -

Bei bekannter Drehrichtung des Rotors (Fig. 7 und 8) werden die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet, daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor 251a erzeugt, dessen Phasenlage  $\alpha$  mit der Rotorposition  
5 übereinstimmt, wie sie durch Anlegen der ersten sechs Teststromimpulse bestimmt wurde. Nachfolgend wird ein zweiter weiterer Teststromimpuls auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, der einen zweiten Statorflußvektor 252a erzeugt, dessen Phasenlage um einen elektrischen  
10 Winkelschritt, also  $60^\circ$  elektrisch, in Krafrichtung, die hier wiederum mit der Drehrichtung zusammenfällt, gegenüber dem ersten Statorflußvektor 251a versetzt ist. Die Bezugszeichen für diese beiden Statorflußvektoren sind in Fig. 7 in Klammern gesetzt. Die Stromanstiegszeiten beider  
15 Teststromimpulse werden gemessen und die Phasenlage desjenigen Statorflußvektors, dem die kleinste Stromanstiegszeit zugehörig ist, wird als neue Rotorposition bestimmt. Anschließend wird wiederum ein Stromimpuls zur Drehmomenterzeugung auf die Statorwicklung 12 aufgeschaltet.  
20 Der von diesem Stromimpuls erzeugte drehmomentbildende Statorflußvektor 25' (Fig. 8) ist um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neu bestimmten Rotorposition in Krafrichtung verschoben. Stimmt die neu bestimmte Rotorposition mit der zuvor bestimmten Rotorposition überein, beträgt also im in Fig. 7  
25 und 8 angenommenen Beispiel  $120^\circ$  elektrisch, so liegt der mit dem zuletzt angelegten Teststromimpuls erzeugte Statorflußvektor 252a um einen halben elektrischen Winkelschritt von hier  $30^\circ$  elektrisch neben dem drehmomentbildenden Statorflußvektor 25' so daß zur  
30 Generierung des Stromimpulses für den drehmomentbildenden Statorflußvektor mit der Phasenlage  $\alpha=210^\circ$  lediglich die

- 19 -

Wicklungsphase 122 nicht mehr bestromt zu werden braucht, wie dies aus dem Bestromungsschema im rechten Teil der Tabelle gemäß Fig. 3 hervorgeht. Weicht dagegen die neu bestimmte Rotorposition von der zuvor bestimmten Rotorposition ab, hat  
5 also im Beispiel der Fig. 7 die Phasenlage  $\alpha=180^\circ$  elektrisch, so liegt der mit dem zuletzt angelegten Teststromimpuls erzeugte Stromflußvektor 25  $90^\circ$  elektrisch neben dem zur Drehmomentenbildung erforderlichen Statorflußvektor 25' (in Fig. 8 strichliniert eingezeichnet)  
10 und zum Anlegen des um  $90^\circ$  in der Phasenlage vorausseilenden drehmomentbildenden Statorflußvektors 25' kann eine Wicklungsphase gleich bestromt bleiben. Im in Fig. 7 und 8 vorgestellten Beispiel ist dies bei einer Phasenlage  $\alpha=270^\circ$  des Statorflußvektors 25' die Wicklungsphase 123 der  
15 Statorwicklung 12, die durch den letzten Teststromimpuls zusammen mit den Wicklungsphasen 121 und 122 bestromt wurde. In beiden Fällen wird damit der letzte Teststromimpuls mit dem Stromimpuls für die Erzeugung des drehmomentbildenden Statorflußvektors integriert, wodurch eine deutliche  
20 Drehmomenterhöhung im Hochlauf erzielt wird.

Ist wiederum die Drehrichtung des Motors unbekannt, so werden zur Erzielung des gleichen wie vorstehend beschriebenen Vorteils die insgesamt drei weiteren Teststromimpulse so auf  
25 die Statorwicklung 12 aufgeschaltet, daß - wie in Fig. 9 dargestellt ist - ein erster weiterer Teststromimpuls 251b einen Statorflußvektor 251b erzeugt, der gegenüber der Phasenlage des drehmomentbildenden Statorflußvektors 25' um  $90^\circ$  elektrisch zuzüglich eines halben elektrischen  
30 Winkelschritts, also  $30^\circ$  elektrisch, entgegen Kraftrichtung versetzt ist. Die zugehörige Stromanstiegszeit wird gemessen

- 20 -

und gespeichert. Im angenommen Beispiel der Fig. 9 und 10 hat dieser Statorflußvektor 251b eine Phasenlage von  $\alpha=60^\circ$ , ist also gegenüber dem drehmomentbildenden Statorflußvektor 25' um  $150^\circ$  elektrisch entgegen Krafrichtung versetzt. Danach

5 wird ein zweiter weiterer Teststromimpuls aufgeschaltet, der einen Statorflußvektor 252b generiert, der gegenüber dem ersten Statorflußvektor 251b um einen elektrischen Winkelschritt, also  $60^\circ$  elektrisch, in Krafrichtung versetzt ist. Auch hier wird die zugehörige Stromanstiegszeit

10 gemessen. Ein dritter weiterer Teststromimpuls wird aufgeschaltet, der einen dritten Statorflußvektor 253b generiert, dessen Phasenlage wiederum um eine elektrischen Winkelschritt, also um  $60^\circ$  elektrisch, gegenüber dem zweiten Statorflußvektor 252b versetzt ist. Die zugehörige

15 Stromanstiegszeit wird wiederum gemessen. Nunmehr wird derjenige der drei Statorflußvektoren 251b, 252b und 253b bestimmt, dessen Stromanstiegszeit die kleinste ist. Die Phasenlage  $\alpha$  dieses Statorflußvektors definiert die neue Rotorposition. Auch hier liegt der Statorflußvektor 213b, der

20 von dem zuletzt auf die Statorwicklung 12 aufgeschalteten Teststromimpuls erzeugt wurde, um  $30^\circ$  elektrisch neben dem zur Drehmomentenbildung erforderlichen Statorflußvektor 25', wenn die gleiche Rotorposition wie zuvor erkannt wird, und um  $90^\circ$  elektrisch neben dem Statorflußvektor 25', der für die

25 anschließende Drehmomenterzeugung benötigt wird, wenn sich die Rotorposition verändert hat. Wie vorstehend schon hervorgehoben wurde, braucht im ersten Fall (gleiche Rotorposition) für die Drehmomenterzeugung nur eine Phase nicht mehr bestromt zu werden. Im zweiten Falle der

30 veränderten Rotorposition ist ein Stromflußvektor zu generieren, der um  $90^\circ$  elektrisch der neu bestimmten

- 21 -

Rotorposition in Kraftrichtung vorausseilt. Wie das Bestromungsmuster der Wicklungsphasen in dem rechten Tabellenteil der Fig. 3 zeigt, kann hierzu eine gleiche Wicklungsphase bestromt bleiben, die auch durch den zuletzt

5 aufgeschalteten Teststromimpuls bestromt wurde. Der Vergleich der Stromanstiegszeiten der drei Teststromimpulse erfolgt auch hier wiederum durch die Vergleichslogik 23, und die Phasenlage  $\alpha$  des zuletzt in den zweiten Speicher 22 eingeschriebenen Statorflußvektors, die den Sektor 26

10 bestimmt, in welchem sich der Rotor 13 befindet, wird der Steuervorrichtung 15 zugeführt. Auch hier werden die drei Teststromimpulse und der Stromimpuls zur Drehmomenterzeugung nach Ablauf einer bestimmten Zeit wiederholt angelegt und die gleiche Prozedur solange durchgeführt, bis die

15 Steuervorrichtung 15 eine ausreichende Drehzahl des Rotors 13 erkennt.

5

## Ansprüche

- 10 1. Verfahren zum Starten eines bürstenlosen  
Gleichstrommotors mit einem permanentmagnet- oder  
gleichstromerregten Rotor (13) und einem eine  
mehrphasige Statorwicklung (12) tragenden Stator (11),  
sowie mit einer von einer Steuervorrichtung (15)  
15 gesteuerten Schaltvorrichtung (14) zum folgerichtigen  
Anschließen der Wicklungsphasen (121, 122, 123) der  
Statorwicklung (12) an eine Netzgleichspannung, bei dem  
während des Rotorstillstands durch entsprechende  
Ansteuerung der Schaltvorrichtung (14) eine Mehrzahl von  
20 Stromimpulsen auf die Statorwicklung (12) aufgeschaltet,  
in der Statorwicklung (12) bei jedem Stromimpuls die  
Stromanstiegszeit bis zum Erreichen einer Stromschwelle  
gemessen und aus den gemessenen Stromanstiegszeiten die  
Rotorposition abgeleitet wird, dadurch gekennzeichnet,  
25 daß eine Mehrzahl von Teststromimpulsen nacheinander so  
auf die Statorwicklung (12) aufgeschaltet wird, daß die  
Teststromimpulse über 360° elektrisch um gleiche  
Winkelschritte versetzte Statorflußvektoren (25)  
erzeugen, und daß zu jedem Statorflußvektor (25) die  
30 Stromanstiegszeit im Summenstrom der Statorwicklung (12)  
gemessen und die Phasenlage ( $\alpha$ ) des Statorflußvektors



- 23 -

mit der kleinsten Stromanstiegszeit als Rotorposition bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß  
5 die Zeitspanne zwischen aufeinanderfolgenden Teststromimpulsen so gewählt wird, daß die von einem Teststromimpuls erzeugten Phasenströme in der Statorwicklung (12) vor Umschalten des nächsten Teststromimpulses abgeklungen sind.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelschritte bei einer m-phasigen Statorwicklung (12) zu  $180^\circ/m$  elektrisch gewählt und insgesamt  $2m$  Teststromimpulse auf die  
15 Statorwicklung (12) aufgeschaltet werden, wobei  $m$  größer 2 ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach Bestimmen der Rotorposition ein  
20 Stromimpuls auf die Statorwicklung (12) aufgeschaltet wird, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor (25') erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch in einer als Krafrichtung gewählten Rotordrehrichtung gegenüber der bestimmten Rotorposition versetzt ist, und  
25 daß nach einer Zeitspanne weitere Teststromimpulse zur Überprüfung der Rotorposition auf und weitere Stromimpulse zur Drehmomenterzeugung die Statorwicklung (12) aufgeschaltet werden.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet werden,

- 24 -

- daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor (251) erzeugt, dessen Phasenlage ( $\alpha$ ) um einen halben elektrischen Winkelschritt gegenüber der Phasenlage ( $\alpha$ ) des drehmomentbildenden Statorflußvektors (25') entgegen Krafrichtung versetzt ist, und ein zweiter weiterer Teststromimpuls einen Statorflußvektor (252) erzeugt, dessen Phasenlage um einen elektrischen Winkelschritt gegenüber dem ersten Statorflußvektor (251) entgegne Krafrichtung versetzt ist, daß die den beiden Statorflußvektoren (251, 252) zugehörigen Stromanstiegszeiten gemessen und miteinander verglichen werden und die Phasenlage ( $\alpha$ ) des Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit als neue Rotorposition bestimmt wird und daß ein weiterer Stromimpuls auf die Statorwicklung (12) aufgeschaltet wird, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor (25') erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neuen Rotorposition in Krafrichtung versetzt ist.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet werden, daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor (251) erzeugt, dessen Phasenlage ( $\alpha$ ) gegenüber der Phasenlage ( $\alpha$ ) des drehmomentbildenden Statorflußvektors (25') um einen halben elektrischen Winkelschritt entgegen Krafrichtung versetzt ist und ein zweiter und dritter weiterer Teststromimpuls eine zweiten und dritten Statorflußvektor (252, 253) erzeugen, deren Phasenlagen ( $\alpha$ ) gegenüber dem ersten Statorflußvektor (251) bzw. dem zweiten Statorflußvektor (252) um jeweils einen elektrischen Winkelschritt

- 25 -

- entgegen Krafrichtung versetzt sind, daß die den  
Statorflußvektoren (251, 252, 253) zugehörigen  
Stromanstiegszeiten gemessen und miteinander verglichen  
werden und die Phasenlage ( $\alpha$ ) des Statorflußvektors mit  
5 der kleinsten Stromanstiegszeit als neue Rotorposition  
bestimmt wird und daß ein weiterer Stromimpuls auf die  
Statorwicklung (12) aufgeschaltet wird, der einen  
drehmomentbildenden Statorflußvektor (25') erzeugt,  
dessen Phasenlage ( $\alpha$ ) um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der  
10 neuen Rotorposition in Krafrichtung versetzt ist.
7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß  
die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet werden,  
daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen ersten  
15 Statorflußvektor (251a) erzeugt, dessen Phasenlage ( $\alpha$ )  
mit der bestimmten Rotorposition übereinstimmt und ein  
zweiter weiterer Teststromimpuls einen zweiten  
Statorflußvektor (252a) erzeugt, dessen Phasenlage um  
einen elektrischen Winkelschritt in Krafrichtung  
20 gegenüber dem ersten Statorflußvektor (251a) versetzt  
ist, daß die den beiden Statorflußvektoren (251a, 252a)  
zugehörigen Stromanstiegszeiten gemessen und miteinander  
verglichen werden und die Phasenlage ( $\alpha$ ) des  
Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit  
25 als neue Rotorposition bestimmt wird und daß ein  
weiterer Stromimpuls auf die Statorwicklung (12)  
aufgeschaltet wird, der einen drehmomentbildenden  
Statorflußvektor (25') erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$   
elektrisch gegenüber der neuen Rotorposition in  
30 Krafrichtung versetzt ist.

- 26 -

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die weiteren Teststromimpulse so aufgeschaltet werden, daß ein erster weiterer Teststromimpuls einen ersten Statorflußvektor (251b) erzeugt, der gegenüber der Phasenlage des drehmomentbildenden Statorflußvektors (25') um  $90^\circ$  elektrisch zuzüglich eines elektrischen Winkelschritts entgegen Krafrichtung versetzt ist, ein zweiter weiterer und dritter weiterer Teststromimpuls einen zweiten und dritten Statorflußvektor (252b, 253b) erzeugen, der um jeweils einen elektrischen Winkelschritt in Krafrichtung gegenüber dem ersten bzw. zweiten Statorflußvektor (251b, 252b) versetzt ist, daß die den Statorflußvektoren (251b, 252b, 253b) zugehörigen Stromanstiegszeiten gemessen und miteinander verglichen werden und die Phasenlage ( $\alpha$ ) des Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit als neue Rotorposition bestimmt wird und daß ein weiterer Stromimpuls auf die Statorwicklung (12) aufgeschaltet wird, der einen drehmomentbildenden Statorflußvektor (25') erzeugt, dessen Phasenlage um  $90^\circ$  elektrisch gegenüber der neuen Rotorposition in Krafrichtung versetzt ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 - 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufschaltung der weiteren Teststromimpulse und des weiteren drehmomentbildenden Stromimpulses solange wiederholt wird, bis eine ausreichend große Rotordrehzahl erreicht ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des die Rotorposition

- 27 -

- bestimmenden Statorflußvektors die Phasenlagen ( $\alpha_n$ ) und die zugeordneten Stromanstiegszeiten ( $t_n$ ) aufeinanderfolgender Statorflußvektoren gespeichert werden und dabei die Speicherwerte des vorherigen
- 5 Statorflußvektors mit denen des nachfolgenden Statorflußvektors überschrieben werden, wenn die dem nachfolgenden Statorflußvektor zugehörige Stromanstiegszeit kleiner ist, als die dem vorherigen Statorflußvektor zugehörige Stromanstiegszeit.

1 / 4

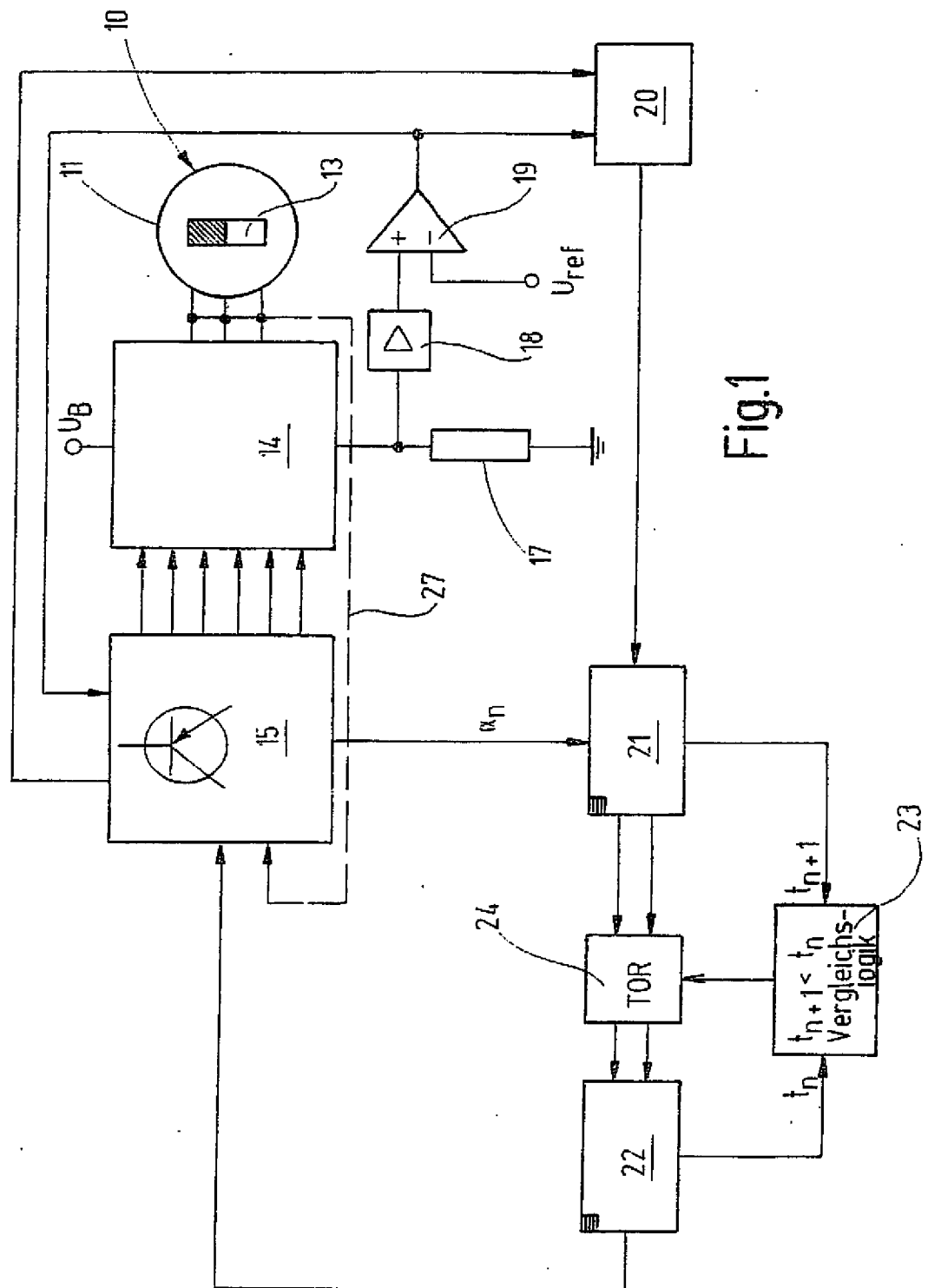
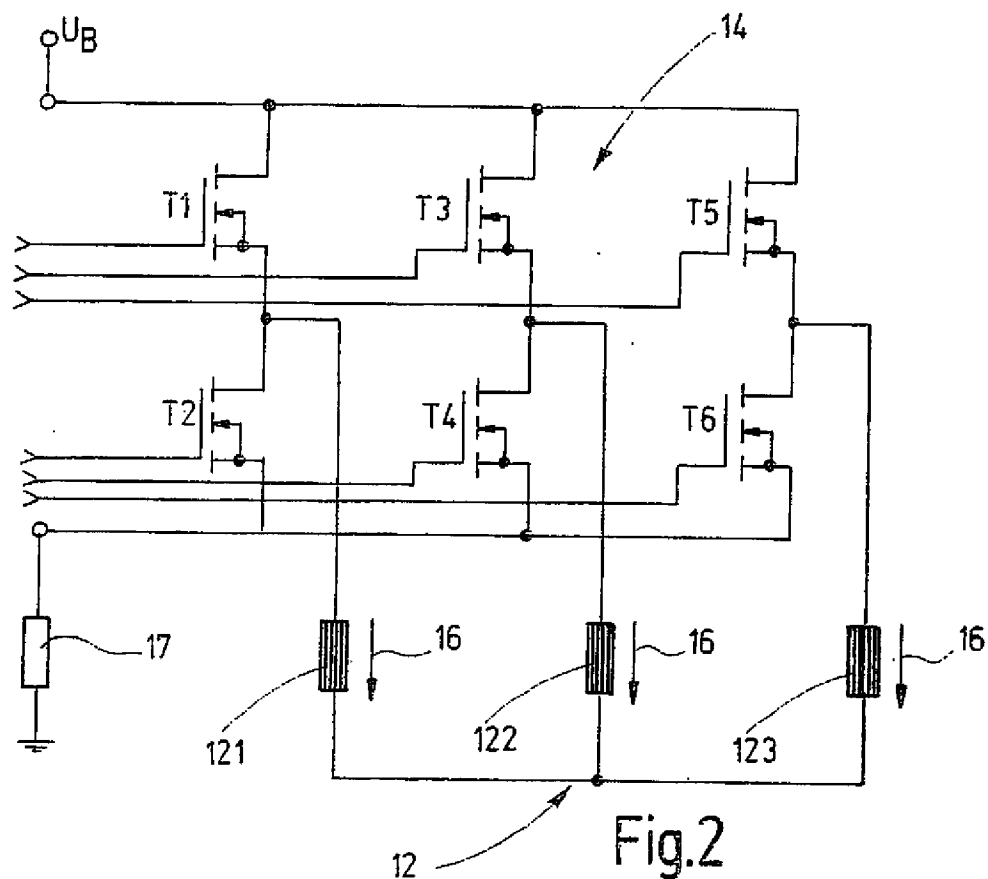


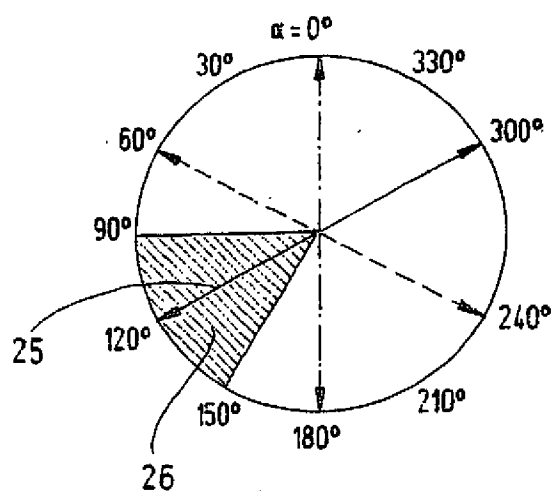
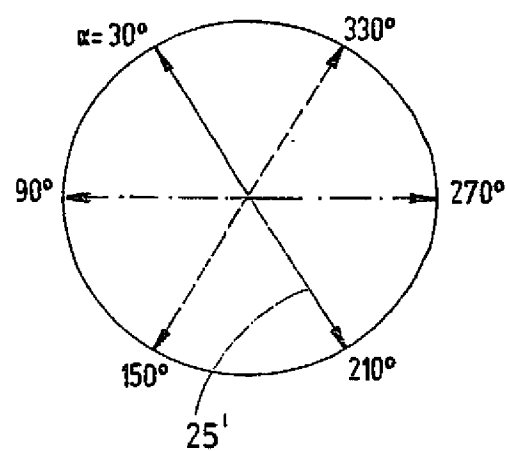
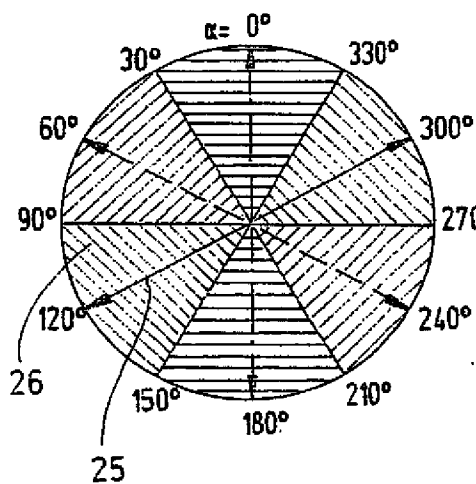
Fig.1

2 / 4



$I_n$	Brückenschaltung						Phasenlage $\alpha_n$ SFV	Wicklungsphase		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		121	122	123
1	1	0	0	1	0	1	0°	+	-	-
	1	0	0	0	0	1	30°	+		-
2	1	0	1	0	0	1	60°	+	+	-
	0	0	1	0	0	1	90°		+	-
3	0	1	1	0	0	1	120°	-	+	-
	0	1	1	0	0	0	150°	-	+	
4	0	1	1	0	1	0	180°	-	+	+
	0	1	0	0	1	0	210°	-		+
5	0	1	0	1	1	0	240°	-	-	+
	0	0	0	1	1	0	270°		-	+
6	1	0	0	1	1	0	300°	+	-	+
	1	0	0	1	0	0	330°	+	-	

Fig. 3





4 / 4

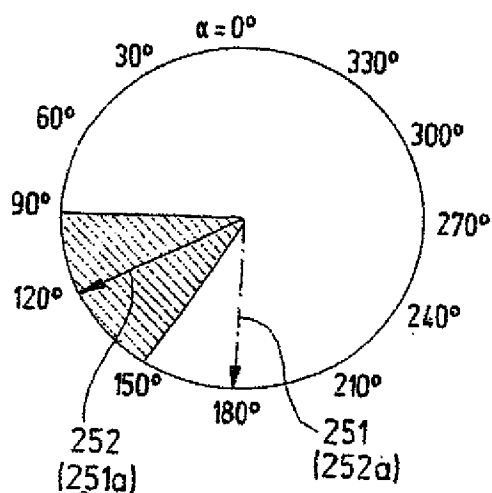


Fig. 7

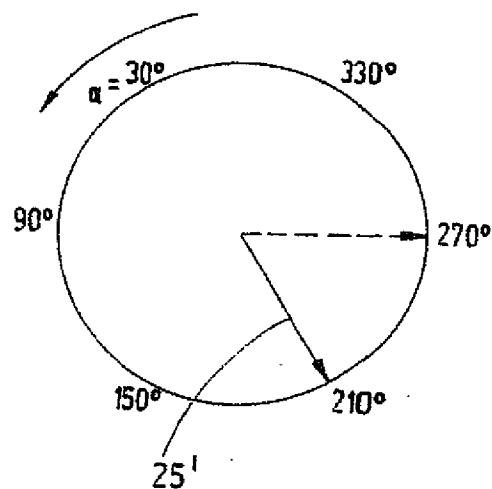


Fig. 8

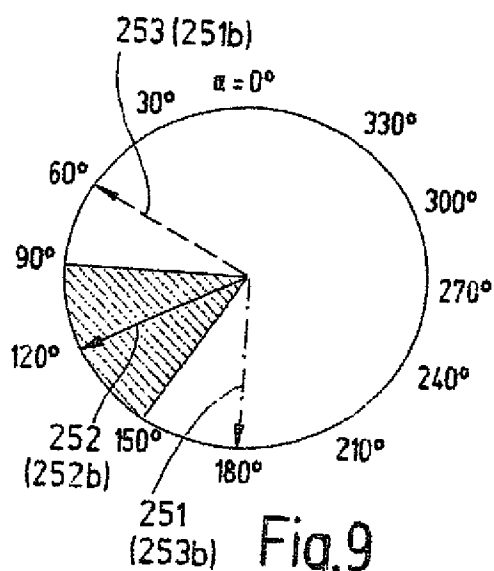


Fig. 9

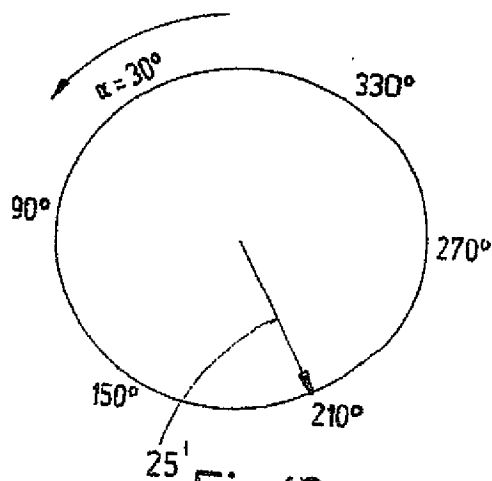


Fig. 10



(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
26. Juni 2003 (26.06.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/052919 A3**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H02P 6/20, 6/16**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE02/04582**

(22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Dezember 2002 (16.12.2002)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:  
101 62 380.1 19. Dezember 2001 (19.12.2001) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HEIDRICH, Torsten**  
[DE/DE]; Roggenweg 1, 71665 Vaihingen/Enz (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): **JP, US.**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

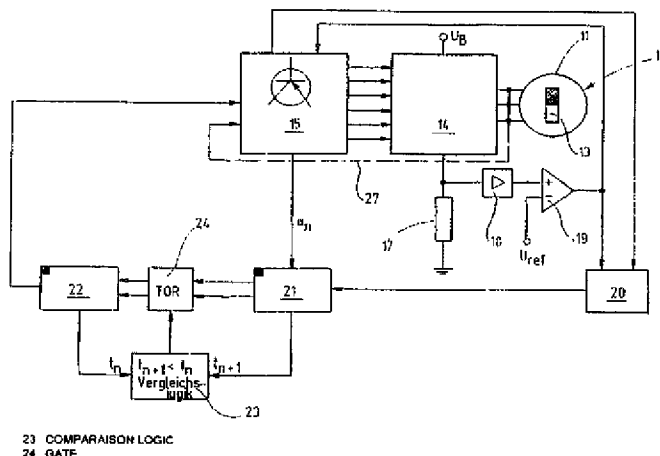
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **METHOD FOR STARTING A BRUSHLESS D.C. MOTOR**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM STARTEN EINES BÜRSTENLOSEN GLEICHSTROMMOTORS**



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for starting a brushless d.c. motor comprising a multi-phase stator winding. According to the invention, a plurality of current pulses is applied to the stator winding while the rotor is stationary, a current build-up period is measured in the stator winding for each current pulse until a current threshold has been reached and the rotor position is derived from the current build-up periods that have been measured. The aim of the invention is to obtain a controlled acceleration without the use of a sensor and to precisely determine the rotor position without using complex control technology. To achieve this, a plurality of test current pulses is successively applied to the stator winding in such a way that the test current pulses in the stator generate stator flow vectors across 360°, which are electrically offset by identical angular increments. The current build-up period is measured in the aggregate current of the stator winding for each stator flow vector and the phase angle of the stator flow vector with the shortest current build-up period is determined as the rotor position.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zum Starten eines bürstenlosen Gleichstrommotors mit einer mehrphasigen Statorwicklung angegeben, bei dem während des Rotorstillstands eine Mehrzahl von Stromimpulsen auf die Statorwicklung aufgeschaltet, in der Statorwicklung bei jedem Stromimpuls eine Stromanstiegszeit bis zum

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/052919 A3



(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen

Recherchenberichts:

6. November 2003

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Erreichen einer Stromschwelle gemessen und aus den gemessenen Stromanstiegszeiten die Rotorposition abgeleitet wird. Für einen geregelten, sensorlosen Hochlauf wird eine genauere Bestimmung der Rotorposition bei geringerem steuerungstechnischen Aufwand dadurch erreicht, daß eine Mehrzahl von Teststromimpulsen nacheinander so auf die Statorwicklung aufgeschaltet werden, daß die Teststromimpulse im Stator über  $360^\circ$  elektrisch um gleiche Winkelschritte versetzte Statorflußvektoren erzeugen. Zu jedem Statorflußvektor wird die Stromanstiegszeit im Summenstrom der Statorwicklung gemessen und die Phasenlage des Statorflußvektors mit der kleinsten Stromanstiegszeit als Rotorposition bestimmt.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/04582

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H02P6/20 H02P6/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 117 165 A (CASSAT ALAIN M ET AL) 26 May 1992 (1992-05-26) column 4, line 25 -column 9, line 43; figures 1,3-5,7	1-10
A	US 5 254 914 A (DUNFIELD JOHN C ET AL) 19 October 1993 (1993-10-19) column 4, line 35 -column 9, line 19	1-10
A	US 4 876 491 A (SQUIRES JOHN P ET AL) 24 October 1989 (1989-10-24)	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 September 2003

Date of mailing of the international search report

23/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Segaert, P

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
 information on patent family members

International Application No  
**PCT/DE 02/04582**

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5117165	A	26-05-1992	NONE		
US 5254914	A	19-10-1993	NONE		
US 4876491	A	24-10-1989	AT	92686 T	15-08-1993
			DE	3786849 D1	09-09-1993
			DE	3786849 T2	11-11-1993
			EP	0251785 A2	07-01-1988
			JP	2547778 B2	23-10-1996
			JP	63069489 A	29-03-1988

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/04582

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 H02P6/20 H02P6/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 117 165 A (CASSAT ALAIN M ET AL) 26. Mai 1992 (1992-05-26) Spalte 4, Zeile 25 -Spalte 9, Zeile 43; Abbildungen 1,3-5,7	1-10
A	US 5 254 914 A (DUNFIELD JOHN C ET AL) 19. Oktober 1993 (1993-10-19) Spalte 4, Zeile 35 -Spalte 9, Zeile 19	1-10
A	US 4 876 491 A (SQUIRES JOHN P ET AL) 24. Oktober 1989 (1989-10-24)	

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. September 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/09/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Segaert, P

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/04582

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5117165	A	26-05-1992	KEINE		
US 5254914	A	19-10-1993	KEINE		
US 4876491	A	24-10-1989	AT	92686 T	15-08-1993
			DE	3786849 D1	09-09-1993
			DE	3786849 T2	11-11-1993
			EP	0251785 A2	07-01-1988
			JP	2547778 B2	23-10-1996
			JP	63069489 A	29-03-1988